دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی نساجی

بررسی اثر افزودن نانوذرات و ویسکرهای کاربید سیلیسیم بر ریسندگی پلی پروپیلن و اندازه گیری خواص لیف نهایی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

سید مسعود نصیری

استاد راهنما

دکتر علی زادهوش

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده مهندسی نساجی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی مهندسی نساجی – الیاف آقای سید مسعود نصیری

تحت عنوان

بررسی اثر افزودن نانوذرات و ویسکرهای کاربید سیلیسیم بر الیاف پلی پروپیلن و اندازه گیری خواص لیف نهایی

در تاریخ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر علی زادهوش
۲- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مصطفی یوسفی
۳- استاد داور	دکتر صدیقه برهانی
۴- استاد داور	دکتر لاله قاسمی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مصطفی یوسفی

با تشکر از اساتید محترم ، کارکنان دانشکده و تمامی عزیزانی که بنده را در انجام آزمایشات و گردآوری این پروژه راهنمایی و مساعدت نمودند

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،

ابتکارات و نوآوری های ناشی از تحقیق موضوع

این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

تقدیم به:

پدر و مادر گرانقدرم

و

همه ی استفاده کنندگان،

...

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فهرست مطالب	هشت
چکیده	۱
فصل اول: مقدمه	۲
۱-۱ مزایای خاص کامپوزیت	۳
۱-۲ انواع کامپوزیت	۴
۱-۲-۱ کامپوزیتهای ذره ای	۴
۱-۳ مقدمه ای درمورد نانو	۵
۱-۴ انواع نانوذرات	۷
۱-۵ نانوکامپوزیت ها	۷
۱-۵-۱ نانوکامپوزیت های سرامیکی	۸
۱-۵-۱-۱ مقدمه	۸
۱-۵-۱-۲ ویژگی‌های محصولات نانوسرامیکی	۹
۱-۵-۲ طبقه بندی نانوکامپوزیتها بر مبنای نوع ماتریس	۹
۱-۵-۲-۱ نانوکامپوزیتهای زمینه پلیمری (PMC)	۹
۱-۶ معرفی سیلیسیم کاربید	۱۱
۱-۶-۱ خواص فیزیکی و مکانیکی سیلیسیم کابید	۱۱
۱-۶-۲ کاربردهای سیلیسیم کاربید	۱۳
۱-۶-۳ ویسکرهای سیلیکون کاربید	۱۳
۱-۷ اهمیت و روشهای اصلاح سطح نانوذرات در نانوکامپوزیتها	۱۵
۱-۷-۱ روشهای اصلاح سطح	۱۶
۱-۸ تهیه الیاف از نانوکامپوزیتها و بررسی خواص آنها	۱۶
۱-۹ روابط مکانیکی حاکم بر کامپوزیت های ذره ای	۲۰
۱-۹-۱ مدول یانگ	۲۰
۱-۹-۲ استحکام	۲۱
۲-۹-۳ چقرمگی	۲۳
۱-۱۰ روابط مکانیکی حاکم بر کامپوزیت های الیاف کوتاه	۲۵
۱-۱۰-۱ مدول یانگ	۲۵
۱-۱۰-۲ استحکام	۲۶

۱-۱۰-۴ بلورینگی ۲۷
۱- ۱۱ ارتباط میان رئولوژی مذاب و خواص ساختاری ۲۸
۱-۱۱-۱ رئومتر دینامیکی-مکانیکی ۲۸
۱-۱۱-۲ اندازه گیری خواص برشی دینامیکی نوسانی ۲۹
۱- ۱۲ مطالعات انجام شده بر تاثیر افزودن نانوذرات سیلیکون کاربید در ترموپلاستیک ها ۳۱
۱-۱۳ هدف از انجام پژوهش ۳۸

فصل دوم: تجربی ۴۰
۲-۱ مواد مصرفی ۴۰
۲-۲ تهیه نمونه ها ۴۲
۲-۲-۱ اصلاح سطح سیلیسیم کاربید ۴۲
۲-۲-۲ تهیه مستربچ کامپوزیتی ۴۳
۲-۲-۳ ریسندگی نمونه های نانوکامپوزیت ۴۴
۲-۳ آزمون های انجام گرفته بر روی نمونه ها ۴۵
۲-۳-۱ آزمون های مکانیکی ۴۵
۲-۳-۲ طیف سنجی FTIR ۴۶
۲-۳-۳ تحلیل تصویری ۴۶
۲-۳-۴ رئومتری ۴۶
۲-۳-۵ تحلیل حرارتی ۴۷

فصل سوم: نتیجه گیری و بحث ۴۸
۳-۱ بررسی خصوصیات مورفولوژیکی ۴۸
۳-۱-۱ تصاویر SEM ۴۸
۳-۱-۲ طیف FTIR ۵۱
۳-۲ بررسی خواص مکانیکی ۵۳
۳-۲-۱ بررسی نمودارهای تنش -کرنش ۵۳
۳-۲-۲ بررسی آماری نتایج ۶۰
۳-۲-۳ مقایسه با مدل های تئوری ۶۶
۳-۳ بررسی خواص رئولوژیکی ۷۱
۳-۳ بررسی خواص حرارتی ۷۳

فصل چهارم: نتیجه‌گیری نهایی ۷۶
۴-۱ نتیجه گیری نهایی ۷۶
۴-۲ ارائه پیشنهادات ۷۸

پیوست: ۷۹
پ-۱- ۷۹
پ-۲- ۸۰
پ-۳- ۸۲
پ-۴- ۸۳
مراجع ۸۷

چکیده

سیلیکون کاربید به عنوان یکی از سخت ترین مواد جهت تقویت کنندگی در کامپوزیت ها بسیار مورد توجه است. در این میان نانو ویسکرهای سیلیکون کاربید که از جدیدترین مواد تولیدی در صنعت سرامیک می باشد، به دلیل داشتن نسبت طول به قطر بالا در کامپوزیت های پایه سرامیکی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اما استفاده از آن در نانوکامپوزیت های پایه پلیمری هنوز مرسوم نشده است. لذا در این پژوهش با بکارگیری این ماده به عنوان تقویت کننده در الیاف پلی پروپیلن، خواص مکانیکی، تصویری، طیفی، رئولوژیکی و حرارتی آن اندازه گیری و با نانوذرات SiC مقایسه شد. هر دو نوع نانوذره و نانو ویسکر در درصدهای وزنی ۰/۲ ، ۰/۵ ، ۰/۸ و ۱/۱جهت دستیابی به پراکنش خوب با دستگاه اکسترودر دو مارپیچه مورد اختلاط قرار گرفتند. همچنین با بکارگیری روش طراحی آزمایش تاگوچی جهت کم کردن تعداد آزمایشات، نمونه های ۰/۲ و ۰/۸ درصد نانو ذره و نمونه های ۰/۵ و ۱/۱ درصد نانو ویسکر تحت اصلاح سطح قرار گرفت. در نهایت تأثیر نانوذره و نانو ویسکر بر خواص فیزیکی و مکانیکی توسط آزمون های کششی، DSC، FTIR، SEM مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج حاصل نشان می دهد که در الیاف کشیده نشده، ازدیاد طول تا پارگی کامپوزیت حاوی نانو ویسکر به دلیل عدم آرایش یافتگی نانو ویسکرها در جهت محور لیف، از کامپوزیت حاوی نانو ذره کمتر است. پدیده ای که به شکل آرایش پوسته مغزی در تصاویر SEM گرفته شده از الیاف کشیده نشده حاوی نانو ویسکر مشخص است. همچنین مشاهده شد که با افزایش درصد نانو ذره، ابتدا افزایش خواص (تا ۰/۵ درصد وزنی) اتفاق افتاده و سپس به دلیل ایجاد تجمعات، کاهش خواص رخ می دهد. در نانوکامپوزیت حاوی نانو ویسکر روند اندکی متفاوت است، در اینجا بیشینه استحکام در ۰/۲ درصد و برابر ۲۲/۷درصد است. اما در الیاف کشیده شده تا ۵ برابر طول اولیه نتایج آزمون کشش به کلی متفاوت بود، به طوری که خواص مکانیکی الیاف کشیده شده حاوی نانو ویسکر نسبت به الیاف حاوی نانو ذره بهتر شد، که دلیل آن را می توان جهت گیری نانو ویسکرها در جهت طول لیف در اثر اعمال کشش دانست. مقدار این بهبود ۸۱/۵ درصد در مدول مربوط به لیف حاوی ۰/۸ درصد بود. همچنین بیشینه افزایش استحکام، برابر ۶۱/۸ درصد برای کامپوزیت حاوی ۰/۸ درصد نانوویسکر بود.

حالت بهینه محاسبه شده از تحلیل آماری تاگوچی در آزمون مدول عبارتست از کامپوزیت تشکیل شده از ۰/۸ درصد نانو ویسکر اصلاح سطح نشده درون پلی پروپیلن. همچنین شرایط بهینه برای آزمون استحکام نیز مطابق با نتایج تحلیل آماری برای حالت ۰/۲ درصد از نانو ویسکر اصلاح سطح نشده درون پلی پروپیلن، بدست آمد. برای آزمون ازدیاد طول هم حالت کامپوزیت پرشده با ۰/۸ درصد نانو ویسکر اصلاح سطح نشده، بهترین جواب را عاید می سازد.

نکته غیر منتظره در اینجا کاهش خواص مکانیکی در نمونه های حاوی نانومواد اصلاح سطح شده می باشد که دلیل آن به افزایش درصد تبلور در این نانوکامپوزیت ها برمی گردد. برای مدول الیاف کامپوزیتی حاوی نانو ذرات، نزدیکی خوبی با مدل کارون و نیز مدول عرضی بدست آمد. اما تغییرات مدول الیاف کامپوزیتی حاوی نانو ویسکر تا حدودی از مدل کاکس تبعیت می کند. همچنین در مورد نانوذرات، نتایج تجربی هم خوانی خوبی با مدل یانگ- بیمونت دارد.

کلمات کلیدی: ۱- سیلیکون کاربید ۲-الیاف نانو کامپوزیتی پایه پلیمری ۳-نانو ویسکر ۴- پلی پروپیلن

فصل اول

مقدمه:

گستره وسیعی از مواد معدنی طبیعی از سال ۱۹۳۰ بر روی پلیمرهای ترموپلاستیک به دلایل مختلف که اغلب کاهش هزینه بوده بکار رفته است. عبارت پرکننده های معدنی همچنین بطور وسیعی استفاده می شود که شامل تمام مواد غیرآلی چه بصورت طبیعی یا ساخته شده از مواد اولیه مانند الیاف کوتاه است.

تعاریف زیادی برای واژه کامپوزیت وجود دارد؛ طبق تعریف مهندسی کامپوزیت از کلمه کامپوز[۱] به معنای ترکیب کردن حاصل شده است[۱].

افزایش تقاضا برای مواد خاص منجر به تولید کامپوزیت ها بوسیله ترکیب کردن خواص با ارزش انواع مختلفی از مواد باهم شد. هم اکنون، مواد مهندسی در سطوح مختلف اتمی و مولکولی درحال ایجاد انقلابی در زمینه مواد و فرایندهای آنها هستند. دیده شده که پرکننده یک نقش اساسی در ارتقاء خواص ترموپلاستیک های مختلف ایفاء می کند و به تجربه ثابت شده که افزودن این مواد یک راه مؤثر در بهبود

---

[۱] *compose*

خواص مکانیکی مواد پلیمری ارائه می کند. کامپوزیت از ترکیب دو یا چند ماده که بطور مکانیکی قابل جداسازی باشند، به منظور دستیابی به خواص بهینه تشکیل می شود[۲].

کامپوزیت دارای خواص برتر نسبت به مواد تشکیل دهنده آن و در بعضی موارد خواص منحصربفرد می باشد.

۱-۱ مزایای خاص کامپوزیت

مواد کامپوزیتی دارای مزایای بسیار زیادی نسبت به مواد مهندسی سنتی هستند، که عبارتند از:

۱. مواد کامپوزیتی قابلیت جایگزین شدن با چند ماده معمولی را دارند.
۲. این مواد دارای سفتی ویژه (نسبت سفتی به دانسیته) بالایی میباشند. بعضی کامپوزیت ها دارای سفتی فولاد، با یک پنجم وزن آن و دارای سفتی آلومینیوم با نصف وزن آن هستند.
۳. استحکام ویژه (نسبت استحکام به چگالی) کامپوزیتها بسیار بالاست. بطور مثال استحکام ویژه بعضی کامپوزیتها ۳ تا ۵ برابر آلیاژهای فولاد و آلومینیوم است. بدلیل سفتی ویژه و استحکام ویژه بالا قطعات کامپوزیتی وزن کمتری در مقایسه با قطعات مشابه دارند.
۴. بدلیل داشتن پایه پلیمری یا سرامیکی ماتریس، کامپوزیت ها مقاومت بالایی درمقابل شرایط جوی داشته و مانند فلزات احتیاج به عایق کاری و پوشش ندارند. در نتیجه می توان از آنها حتی در محیط های مرطوب نیز استفاده کرد.
۵. ضریب انبساط حرارتی اجزای کامپوزیتها بسیار کمتر از فلزات است، درنتیجه ساختار کامپوزیت از پایداری ابعادی بالایی برخوردار است.
۶. شکل نهایی قطعات را می توان درحین ساخت کامپوزیت تشکیل داد؛ درنتیجه هزینه اعمال جانبی نظیر ماشین کاری و مونتاژ حذف و زمان پروسه تولید کاهش می یابد. همچنین ساخت قطعات با شکلهای پیچیده و خاص ساده تر می شود.
۷. ویژگی صوتی، ارتعاشی و زیردست کامپوزیت از فلز بهتر است، درنتیجه حوزه کاربرد آن گسترده تر از فلزات است.
۸. تغییر استحکام و کارایی قطعات کامپوزیتی مناسب با کارایی موردنظر در کامپوزیتهای لیفی به سادگی با تغییر جهت الیاف، نوع الیاف و نوع رزین پایه ماتریس قابل حصول است.
۹. بعضی کامپوزیتها دارای خواص استثنایی مثل مقاومت دربرابر عبور دود و گازها یا مایعات هستند که از آن درمحلهایی مانند کانالهای هواپیما دیواره کشتی و غیره استفاده می شود.

۱۰. شرایط تولید کامپوزیتها مثل فشار و دما نسبت به فلزات خیلی پایینتر و مناسبتر است. درنتیجه ابزار و تجهیزاتی که برای ساخت کامپوزیت لازم است، درمقایسه با تجهیزات موردنیاز برای ساخت فلزات ارزان تر است [۳-۱] .

۱-۲ انواع کامپوزیت

دسته بندی کامپوزیت ها (همان مواد مرکب) براساس چند مبنا صورت می گیرد.

نوع ماتریس: براین اساس کامپوزیت ها به چند دسته پایه پلیمری، پایه فلزی و پایه سرامیکی تقسیم می شوند.

نوع تقویت کننده: براین اساس کامپوزیت ها به سه دسته لیفی، ذره ای و صفحه ای تقسیم می گردند.

موفقیت مواد مرکب لیفی با زمینه پلیمری گرماسخت[۱] و یا گرمانرم[۲] که در مقیاس بزرگی بجای فلزات بکار می روند نتیجه بهره برداری از خواص ویژه تقویت کننده است[۱].

مزیتی که مواد مرکب زمینه پلیمری نسبت به فلزات دارند، وزن مخصوص پایین آنهاست. فواید این وزن مخصوص کم با مقایسه مدول ویژه (مدول بر واحد جرم)، استحکام ویژه و غیرو مشخص می شود. استحکام و مدول ویژه پایین به این معنی است که وزن قطعات و اجزای ساخته شده از آنها را می توان کاهش داد[۳].

۱-۲-۱ کامپوزیتهای ذره ای

بعد ازکامپوزیتهای لیفی، کامپوزیتهای ذره ای مهمترین دسته کامپوزیتها هستند. ذرات برخلاف الیاف دارای نسبت ابعادی کوچک و نزدیک به یک هستند. ذرات بمنظور اهداف مختلفی به پلیمر افزوده می شوند، ازجمله کاهش قیمت، کاهش جمع شدگی، افزایش مقاومت در برابر آتش، افزایش خواص مکانیکی، افزایش خواص الکتریکی و غیره[۴].

تاثیر این افزودنی ها بستگی به ماهیت ذرات و خواص و ویژگی آن در ماتریس دارد. تقویت کنندگی در کامپوزیتهای ذره ای به فصل مشترک بین ذره و ماتریس و انتقال تنش از ماتریس به ذره وابسته است. بطوری که هرچه خواص ذرات بهتر از رزین بوده و نیز فصل مشترک و چسبندگی بین ذرات و ماتریس زیاد باشد، انتقال تنش بیشتر و درنتیجه تقویت کنندگی بهتری دارد. البته کامپوزیتهای ذره ای برای

---

۱ *Thermoset*
۲ *Thermoplast*

کاربردهایی که هدف خاصی موردنیاز است، مانند قیمت کمتر، رسانایی یا مقاومت به سایش بکار می روند[۵] .

۱-۳ مقدمه ای درمورد نانو

پرکننده های تجاری مانند کربنات کلسیم، تالک، میکا، سیلیکا، آلومینا، هیدروکسید منیزیم و غیره را باید در نسبتهای بالا درون جسم اضافه کرد تا به اثربخشی قابل قبول برسیم. درهر حال با این روش یک افزایش وزن ناخواسته ای در مقایسه با وزن سبک پلیمرها در جسم ایجاد می شود. بمنظور غلبه بر این مشکل، در دهه های گذشته تحقیقات وسیعی روی گروه جدیدی از ترموپلاستیکهای تقویت شده معدنی با استفاده از پرکننده های در ابعاد نانو (کمتر از ۱۰۰nm) صورت گرفته است[۳و۴].

فناوری نانو علم عمل کردن مواد در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر است. عنوان نانوتکنولوژی اولین بار توسط تانگوچی[۱] (دانشگاه توکیو) درسال ۱۹۷۴ بکار گرفته شد که به معنی طراحی، خصوصیت، تولید و کاربرد سیستمها و وسایل ازطریق کنترل شکل و اندازه درمقیاس نانومتر می باشد[۶].

کشف مواد جدید در اندازه های نانو مانند نانو خاک رس، نانو تیوپ کربن و دیگر مواد زمینه ساز تغییر در نوع جدیدی از کاموزیتها، چسبها، پوششها و مواد عایق با خواص ویژه شده اند. هم اکنون بنظر می آید که نانو ذرات از قابلیت بالایی برای بهبود خواص فیزیکی و مکانیکی پلیمرها برخوردار باشند[۱].

با گذشت سالها توجهات و علاقه مندی ها به نانوتکنولوژی بطورقابل توجهی افزایش یافته است. محور مطالعه در علم نانو، اجسام بسیار کوچک و نیز پدیده های نوظهوری است که در مقیاس نانومتری توسعه یافته اند.کاهش اندازه تولیدات دربسیاری از رشته های مهندسی و خصوصیات خودآرایی سیستمهای شیمیایی و زیست شناختی، ناحیه جدیدی از علوم را که درجهت توسعه و کاربرد نانوتکنولوژی می باشد، بوجود آورده است.

کاربرد نانوتکنولوژی در زمینه علم مواد، اساساً بر روی تولید و استفاده از نانومواد و بخصوص نانوذرات بوده که اولین گامها دراین راه در سال ۱۹۸۵ توسط کروتو[۲]، روبرت[۳] و اسمالی[۴] برداشته شد[۶ و ۷] .

---

۱ *Tanguchi*
۲ *Kroto*
۳ *Robert*
۴ *Smalley*

ذرات در مقیاس نانو نسبت به میکروذرات خواص ویژه تری ارائه می کنند. نظریه تاثیرگذاری اندازه نانو روی ساختار و خواص مواد ازقبیل خواص مکانیکی، شیمیایی، نوری، الکتریکی و حرارتی ثابت شده است[۵].

فراتر از خواص میکرو کامپوزیتهای مرسوم، ابعاد نانو و نسبت طول به قطر ذاتاً زیاد نانو پرکننده ها، باعث ایجاد شش مشخصه خاص متمایزکننده برای آنها می شود که عبارتند از:

a) آستانه نفوذ پائین (۲-۱~ درصد حجمی) دارند
b) برهمکنش میان ذرات (آرایش یافتگی و موقعیت) در جزء حجمی های پائین بدست می آید.
c) دانسیته بالا در واحد حجم ذرات ($۱۰^{۶}$-$۱۰^{۸}$ ذره در میکرومترمکعب)
d) سطح مشترک در واحد حجم فوق العاده زیاد ذرات ($۱۰^{۳}$-$۱۰^{۴}$ مترمربع بر میلی لیتر)
e) فواصل کوتاه میان ذرات (۵۰nm-۱۰ در ۱-۸ درصد حجمی) [۵ و ۷]

خواص فوق العاده ای مانند سختی بالاتر، مقاومت شیمیایی و حرارتی بهتر، پایداری ابعادی، کاهش جذب آب و غیره، حاصل از نانو ذرات بطور کلی به دو پارامتر مهم وابسته است:

اولاً ابعاد نانوذرات قابل قیاس با شعاع ژیراسیون ماکرومولکولها در ماتریس پلیمری است. از منظر کوچکی ابعاد نانو ذرات را می توان با مورفولوژی کریستالی و یا شبکه ای از زنجیرهای گره خورده قیاس کرد. یک پیامد آن اینست که متوسط فواصل میان نانوذرات حتی در غلظتهای کم پرکننده به شدت کاهش می یابد. در حالی که کامپوزیت های حاوی پرکننده معمولی (در ابعاد میکرو) برای داشتن خواص مشابه باید بالاتر از ۲۰ درصد وزنی ذرات داشته باشند.

دوماً نانوذرات ایجاد سطح مخصوص خیلی زیاد همراه با برهمکنش شدید با ماتریس پلیمری می کنند. در نتیجه این برهمکنش، ساختار و یا خواص ماتریس پلیمری مرتباً بهبود می یابد که می تواند باعث تبدیل ماتریس پلیمری خالص به مواد لایه بین سطحی با تقویت کننده شود. با داشتن پرکننده های نانو مقدار این سطح مشترکهای پلیمری به نسبت حجم کل کامپوزیت افزایش چشمگیری دارد[۸ و ۹].

نانوالیاف نیز باتوجه به سطح مخصوص بالا بسیار مورد توجه قرار گرفته که یکی از کاربردهای مهم آن می تواند در رابطه با تقویت کنندگی کامپوزیت باشد. برای کامپوزیتهای تقویت شده با نانوالیاف درصورتی که چسبندگی خوبی بین ماتریس پلیمری و نانوالیاف باشد، تنش اعمال شده به کامپوزیت، به خاطر سطح مخصوص بالای نانوالیاف به خوبی به آنها منتقل خواهد شد. علاوه بر بهبود در کارایی مکانیکی، کامپوزیتهای تقویت شده با نانوالیاف از شفافیت خیلی خوبی برخوردارند. درنتیجه این مواد از قابلیت بالایی برای کاربردهای گوناگون برخوردارند[۱۰] .

۱-۴ انواع نانوذرات

رایج ترین نانوذرات مورد استفاده عبارتند از:

۱) نانوذرات نیمه رسانا (نقاط کوانتومی): نقطه کوانتومی، یک ناحیه از بلور نیمه رساناست که الکترونها، حفرات و یا هردوی آنها را در سه بعد در بر می گیرد و از چند تا چندصد نانومتر را شامل می شود. این ترکیبات به دلیل بازده کوانتومی بالا در زمینه های اپتیکی کاربرد دارند.
۲) نانوذرات سرامیکی: رایج ترین نوع نانوذرات می باشند که به سرامیک های اکسید فلزی، مثل اکسیدهای تیتانیوم، روی، آلومینیوم و آهن و نیز نانوذرات سیلیکاتی که عموماً به شکل ذرات نانومقیاس بوده و توسط نیروهای الکتروستاتیک به یکدیگر چسبیده و به شکل پودر رسوب می کنند. این نانوذرات از روشهای سنتز شیمیایی و فرایندهای حالت جامد بدست می آیند. این نوع نانوذرات با روش پلیمریزاسیون یا آمیزش ذوبی (اختلاط با یک پلاستیک مذاب) با پلیمرها ترکیب شده و خواص قابل توجهی ایجاد می کنند.
۳) نانوذرات فلزی: نانوذرات فلزی با استفاده از روشهای چگالش بخار[۱] و سیم انفجاری[۲] تولید می شوند. این نانوذرات می توانند بدون ذوب شدن در دماهای پایینتر از دمای ذوب فلز درون یک جامد مخلوط گردند. این کار منجر به سهل تر شدن فرایند تولید روکش ها و بهبود کیفیت آنها، خصوصاً در کاربردهای الکترونیکی می شود[۲ و ۷].

۱-۵ نانوکامپوزیت ها

نانوکامپوزیت ها، کامپوزیت های تشکیل شده از دو یا چند فازهستند که حداقل یکی از فازها در ابعاد نانو باشد. یک تعریف عمومی برای نانو کامپوزیت ها عبارتست از: سیستمهای متنوعی از قبیل سیستمهای تک بعدی، دوبعدی، سه بعدی و مواد بی شکل که از اجزاء غیرمشابه و مجزا ازهم توسط عمل اختلاط (نه انحلال) درمقیاس نانو تشکیل شده اند[۱۱] . این مواد نانوساختار براساس ابعادشان بصورت زیر دسته بندی می شوند:

۱) هنگامی که هر سه بعد از یک ذره در ابعاد نانو قرار دارند آنها را نانوذرات با ابعاد مساوی می نامند که شامل نانوذرات کروی، نانوگرانولها و نانوکریستالها می باشند.

---

۱ *Vapor condensation*
۲ *Explosive wire*

۲) زمانی که دو بعد از جسم در ابعاد نانو و بعد سوم بزرگتر باشد، که تشکیل ساختار طولی کشیده می دهد؛ آنها را بطور کلی نانوتیوپ ویا نانوالیاف، ویسکرها یا نانومیله ها می نامند که شامل نانوتیوپهای کربن، نانوتیوپهای سیلیکا و تیتانیوم، ویسکرهای سلولز و غیرو.

۳) ذراتی که فقط با یک بعد میکرومتری مشخص می شوند عبارتند از نانولایه ها، نانوصفحات. در این مورد نانو پرکننده در فرم صفحه با یک یا چند نانومتر ضخامت و چند هزار تا چند میلیون نانومتر درازا مانند خاک رس (سیلیکای صفحه ای)، هیدروکسیدهای دولایه ای و غیرو.[۱۲]

در مقایسه با ذرات در رنج اندازه میکرو، نانوذرات دارای مساحت سطح بزرگتر بوده و درنتیجه یک نانوکامپوزیت می تواند خواص ویژه برخاسته از برهمکنش بین فازی در سطح مشترک فازها نشان دهد. به هرحال، میزان بهبود یک مشخصه خاص شدیداً به سیستم نوع پرکننده/ ماتریس مورد استفاده، پیوندهای بین سطحی پرکننده/ ماتریس و میزان پخش شدگی پرکننده درون ماتریس وابسته است. یک پراکنش خوب از نانوذرات پرکننده در ماتریس پلیمری به همراه سطح مشترک قوی مابین دو فاز برای رسیدن به خواص مکانیکی عالی ضروری به نظر می رسد. خواص نانوکامپوزیتها، نه تنها به خصوصیات اجزاء تشکیل دهنده آن، بلکه به مورفولوژی و خصوصیات فصل مشترک نیز وابسته است[۴ و۱۲].

چندین نوع نانوکامپوزیت برای کاربردهای مهندسی ساخته شده است؛ ازقبیل نانوکامپوزیت های بیولوژیکی و پلیمری، نانوکامپوزیت های سرامیکی، نانوکامپوزیت های فلزی و نانوکامپوزیتهای تشکیل شده از چندین لایه نانو وغیره[۹].

۱-۵-۱ نانوکامپوزیت های سرامیکی

۱-۵-۱-۱ مقدمه

در نانوکامپوزیتهای نانوذره ای سرامیکی، نانوذرات سرامیکی داخل یک شبکه پلیمری توزیع شده اند. استفاده از نانوذرات سرامیکی در مواد کامپوزیتی می تواند استحکام، مقاومت شیمیایی و حرارتی را افزایش داده و خواص جدیدی نظیر هدایت الکتریکی را به آنها افزوده و واکنش آنها درمقابل نور ویا دیگر تشعشعات را تغییر دهد. یکی از خصوصیات نانوکامپوزیتهای ذره ای سرامیکی مورد استفاده در صنایع بسته بندی، کاهش نفوذپذیری گازها است. این خاصیت ناشی از شکل دانه ای نانوذرات می باشد که مولکول های گاز را وادار به جابجایی در طول پیچ و خم های ماده می نماید. پرکننده های سیلیکاتی همچنین می توانند خاصیت یک پلیمر را از سخت شدن تک بعدی به دوبعدی تغییر دهند. زمانی که نانوذرات سیلیکاتی به عنوان پرکننده در پلاستیک ها مورد استفاده قرار می گیرند، با توزیع تنشهای وارده استحکام فوق العاده ای را بوجود می آورند[۴ و ۱۱ و ۱۳].

۱-۵-۱-۲ ویژگی‌های محصولات نانوسرامیکی

- استحکام مکانیکی: پوشش دادن سطح اجسام با نانوسرامیک‌ها، باعث افزایش استحکام و سختی جسم می شود که استحکام آن بسیار بیشتر است.
- ابررسانایی: نانوسرامیک‌ها به علت داشتن ویژگی‌های نوری و الکتریکی به عنوان ابررسانا به کار میروند.
- قدرت پوشش: در ساختار نانو تعداد مکان های فعال افزایش می یابد؛ این افزایش در سطح منجر به کاهش مقدار مواد مصرفی می شود و قیمت نهایی محصول کاهش می یابد.
- قابلیت رقابت با مواد دیگر: نانوسرامیک‌ها ارزش افزوده فوق العاده ایی را ایجاد می کنند و این مواد همانند رنگدانه ها و پوشش های گرانقیمت هستند.
- سازگار با محیط زیست: این مواد زیست سازگار آلودگی های مواد قبلی را ایجاد نمی کنند .
- انعطاف‌پذیری: نانوسرامیک‌ها به دلیل داشتن ویژگی‌های منحصر به فرد در قابلیت حرکت مرزدانه ها بر روی هم، انعطاف پذیری خوبی دارند.
- سطح ویژه بالا: داشتن نسبت سطح به حجم بالا که باعث کنترل دقیق بر سطح میشود[۱۳ و ۱۴].

۱-۵-۲ طبقه بندی نانوکامپوزیتها بر مبنای نوع ماتریس

برحسب نوع مواد سازنده ماتریس، نانوکامپوزیت ها به سه دسته ماتریس سرامیکی (CMC)[۱]، ماتریس فلزی (MMC)[۲] و ماتریس پلیمری (PMC)[۳] تقسیم بندی می شوند[۴].

۱-۵-۲-۱ نانوکامپوزیتهای زمینه پلیمری (PMC)

معمول ترین مواد زمینه در کامپوزیت پلیمرها هستند؛ زیرا اولاً خواص مکانیکی ضعیف پلیمرها (خصوصاً استحکام و سفتی پایین) آنها در مقایسه با فلزات و سرامیک ها نیاز به تقویت شدن دارد. ثانیاً شرایط فراوری کامپوزیت های با زمینه پلیمری بسیار آسانتر بوده و نیاز به فشار و دمای بالا ندارد، و در نتیجه تجهیزات لازم برای تولید این کامپوزیت ها ساده تر و ارزان تر است[۴ و ۱۵].

پلیمرهای آلی تقویت شده با نانوذرات غیرآلی توجهات بسیاری را معطوف خود نموده اند، زیرا از خواص منحصر به فردی برآمده از ترکیب مواد هیبرید آلی و غیرآلی برخوردارند. نانوکامپوزیت های

---

۱ *Ceramic matrix composite*
۲ *Metallic matrix composite*
۳ *Polymer matrix composite*

نهایی بطور کلی، خواص نوری، مکانیکی، مغناطیسی و الکترونوری ارتقاء یافته از خود نشان می دهند. درنتیجه، کامپوزیت ها در زمینه های متنوعی همچون تجهیزات نظامی، امنیتی، لباسهای ایمنی، اتومبیل، هوافضا، الکترونیک و وسایل نوری مورد استفاده قرار گرفته اند. خواص مؤثر کامپوزیت ها به خواص اجزای سازنده، درصد حجمی اجزاء، شکل و طرز قرارگیری تقویت کننده و برهمکنش بین سطحی میان ماتریس و تقویت کننده وابسته است[۴].

هم اکنون پلیمرها بیشترین کاربرد را در زمینه نساجی مدرن یافته اند. پرکاربردترین پلیمرهای آلی معمولی همچون پلی الفین ها، نایلون ها، پلی استرها و پلی یورتان ها تعیین کننده قابلیت های کلیدی و خاصی مانند وزن کم، تولید آسان، قابلیت فرایند پذیری استثنایی، دوام و قیمت ارزان هستند. مبحث اصلی در علم پلیمر نیز به چگونگی توسعه کاربرد این مواد با حفظ قابلیت های ذکرشده در کنار استفاده از مشخصه های برتر ذرات افزودنی مانند مدول، استحکام، کارایی در مقابل آتش و مقاومت حرارتی برمی گردد[۱۶].

خواص مذبور از نانوکامپوزیت های تهیه شده از نانوذرات با پایه پلیمری، همیشه درحال بهبود نیست. برای مثال، اگر یک ویژگی در جهت ارتقاء یافتن تغییر کند، ویژگی دیگر ممکن است به سمت تضعیف شدن برود. در نتیجه هنگام طراحی نانوکامپوزیت ها، یکی از نکات مهم بدست آوردن بهینه مجموعه خواص برای یک کاربرد خاص می باشد[۱۷].

معلوم شده که نانو مواد غیرآلی با طول به قطر بالا برای تقویت یا سفت کردن ترکیب پلیمری مؤثر است. همچنین، تنها مقدار کم نانوپرکننده برای استحکام بخشی به ترکیبات پلیمری اضافه می شوند. برای مثال، تجانگ[۱] و بائو ورقه های ریز سیلیکاتی را به درون ترکیب الاستومر/پلی آمید۶ اضافه کردند تا تعادل بین چقرمگی و سختی را برقرار کند[۱۷].

بر اساس طبقه بندی ساده پلیمرها، نانوکامپوزیت های زمینه پلیمری نیز به سه دسته گرماسخت ها، گرمانرم ها و لاستیک ها طبقه بندی می شوند. البته باتوجه به تنوع مواد مورد استفاده در تقویت کننده ها و نحوه آرایش آنها میزان گستردگی این گروه از نانوکامپوزیتها قابل توجه است[۲].

انتخاب پلیمرها اغلب با توجه به رفتار مکانیکی، حرارتی، الکتریکی، نوری و مغناطیسی آنها انجام می گیرد. به هرحال، خواص دیگری همانند نسبت آبگریزی به آبدوستی، پایداری شیمیایی، سازگاری زیستی، خواص نوری- الکتریکی و قابلیت های کاربری در شرایط شیمیایی (محلول، خیس شوندگی،

[۱] *Tejang and Baou*

اثر قالبگیری) باید درمورد پلیمرها مورد توجه قرار گیرد. پلیمرها در بیشتر موارد می توانند باعث شکل پذیری آسانتر و فرایند کردن بهتر مواد کامپوزیتی شوند[۴].

نقطه ضعف عمده نانوکامپوزیت های زمینه پلیمری، دمای نهایی کاربری پایین، ضریب انبساط حرارتی بالا، عدم ثبات ابعادی و حساسیت به تشعشع و رطوبت است[۱۲].

۱-۶ معرفی سیلیسیم کاربید

سیلیسیم کاربید یک سرامیک غیراکسیدی و از مواد پیشرفته است که بدلیل خواص قابل توجه آن استفاده های زیادی از آن می شود. کاربید سیلیسیم یکی از مهم‌ترین سرامیک‌های غیراکسیدی است که بدلیل داشتن پیوندهای کووالانسی سیلیکون کاربید دارای دانسیته پایین، مقاومت دربرابر سایش، مقاومت اکسیداسیون خوب تا دمای ۱۵۰۰ درجه سلسیوس، ضریب انبساط حرارتی پایین، نقطه ذوب بالا، مقاومت در برابر خوردگی، مقاومت خزش و استحکام و سختی بالا است. بنابراین، این ماده اکنون یکی از مهمترین مواد سرامیکی ساختاری است. این ماده همچنین حاوی خواص الکترونیکی منحصربفردی است که آن را مانند مواد نیمه رسانا مفید می کند که می توان آن را در ولتاژ بالا و فرکانس بالا در محیط با دمای شدیداً بالا بکار برد[۱۸].

هدایت حرارتی بالا، علاوه بر ضریب انبساط حرارتی پایین، مقاومت خوبی درمقابل شوک های حرارتی به آن بخشیده است. مقاومت در برابر تابش های هسته ای و عدم تغییر ساختار در دماهای بالا از دیگر دلایلی است که کاربردهای ویژه ای برای این ماده ایجاد کرده است[۱۹].

۱-۶-۱ خواص فیزیکی و مکانیکی سیلیسیم کابید

عمده ترکیب درصد سیلیسیم کاربید شامل ۷۰ ٪ وزنی Si و ۳۰ ٪ کربن می باشد. خواص فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی سیلیسیم کاربید تاحدودی بستگی به روش ساخت و نوع فاز پیوند دهنده بین ذرات دارد[۱۴].

در شکل ۱-۱ تصاویر ریز ساختار های SiC مشاهده می‌شود[۱۸].